

# 密井网区辫状河道砂体精细地质建模方法研究

郭燕华 袁士义 宋新民

(中国石油勘探开发研究院 北京 100083)

**摘 要** 通过密井网资料的精细地质解剖,采用多信息集成约束储层建模的研究思路,按照如下2个步骤可以建立出适合开发中后期的精细地质模型。

(1)建立高精度储层骨架模型,通过高分辨率层序地层学方法、储层定量模拟技术以及相关露头资料研究成果的借鉴以及密井网区精细储层地质知识库的建立是提高所建立砂体骨架模型横向分辨率的重要保证。纵向上的精度则通过具有一定精度的井数据以及适合的插值方法来保证。通过使用变差函数这一工具可以将上述各类信息有机地综合在一起,最终实现高精度砂体骨架模型的建立。

(2)建立高精度储层参数模型,该模型的精度是建立在高精度砂体骨架模型的基础上,在严格相控约束下,利用密井网数据,选取适合的建模方法,就可以实现高精度储层参数模型建立。该研究思路和方法,充分利用了现有的各种信息,提高了井间砂体预测的精度,同时对于相似条件下稀井网地区的储层分布预测也具有很重要的理论指导意义。

**关键词** 密井网 辫状河砂体 变差函数 高精度储层骨架模型 高精度储层参数模型

## A Study of Fine Geological Modeling of Braid Fluvial Sandbody in the Dense Drilling Zone

GUO Yanhua YUAN Shiyi SONG Xinmin

(China Academy of Petroleum Exploration and Development, Beijing, 100083)

**Abstract** When an oilfield enters the middle or late development phase, it is necessary to establish a high-precision geological model with close spacing for guiding oil development. This paper establishes a two-step fine geological model for middle and late development phase on the basis of fine geological description of dense drilling data and integration of many kinds of data. The first step is to establish a high-precision reservoir frame model. The high precision of this model embodies two aspects: horizontal and vertical directions. High-resolution sequence stratigraphy can provide equal-time stratigraphical framework and horizontal higher precision of sandbodies, and ensure reasonableness of sandbody correlation. By fully using abundant seismic information, the reservoir quantitative simulation technique can improve horizontal precision of sandbodies correlation between wells. Reference of outcrop data and foundation of fine reservoir geological knowledge base in dense drilling zone are essential restricting conditions for horizontal resolution in 10 meter grade of sandbody frame model. Certain resolution of well data and suitable interpolation method can reach vertical high precision of reservoir frame model. All kinds of data can be integrated by means of variation function. Finally a high-precision frame model of sandbodies can be established. The second step based on the high-precision reservoir frame model is to establish a high-precision reservoir parameter model. Under the condition of strict restriction of reservoir sedimentary facies, the utilization of dense drilling data and suitable modeling method can found high-precision reservoir parameter models. In a word, this method can apply all kinds of existing information, and improve precision of sandbody forecast between wells. At the same time it can guide the forecast of reservoir distribution in sparse well pattern zones with similar conditions.

**Key words** dense drilling braid fluvial sandbody variation function high-precision reservoir frame model high-precision reservoir parameter model

精细储层地质模型可以作为检验建模方法和采用的描述模型可靠性的标准,同时还可以为相似地质条件下储层随机建模提供地质知识、参数分布模型和随机结果的决策条件(约束条件)(陈恭洋, 2000)。对于中国东部大多数进入开发中、后期的老油田来说,建立一整套成熟密井网区关于不同储层类型的地质模型,其意义是十分重大的。

以胜坨油田胜一区沙二段 2~3 砂组的辫状河砂体为例,探索出一套建立密井网区储层地质模型的研究思路和方法,首先,在高分辨率层序地层学理论指导下,结合储层定量模拟技术,在地质规律约束下,建立出不同时间尺度的高精度等时地层格架模型。以露头资料和密井网区储层地质知识库所得到的砂体规模形态参数作为建立高精度骨架模型的重要约束条件。使用变差函数综合各类信息,建立出高精度的储层骨架模型。其次,建立储层参数模型,该步是在高精度砂体骨架模型的基础上进行的,在严格相控约束下,通过对密井网区物性参数进行随机模拟,可以建立一个高精度的储层参数模型。该研究思路和方法,最大限度地应用地质、露头、三维地震、测井等静态资料和生产动态资料,充分发挥井点资料垂向分辨率高和地震资料横向信息丰富的优势,能够准确地刻画出井间未知区内储层参数的展布规律,大大提高了井间砂体预测的精度。同时,对于类似条件下稀井网地区的储层分布规律预测也有着很重要的理论指导意义。

## 1 密井网区选择

为了能够很好地研究和检验建立密井网区地质模型的研究方法和思路的准确性,选择合适的典型密井网区是非常必要的,其应具备的基本条件如下:

(1) 根据研究目的,应该针对某一种沉积环境或沉积体系(因为特定的沉积环境对应了特定的储层空间分布关系),并且所选区域可以反映各种成因类型砂体的分布规律。

(2) 具有较完善,且丰富的各种动、静态资料。

(3) 井网密度必须足够大,一般最小井距必须小于数据变差函数结构分析中平面最小变程,这样数据资料才能充分反映变程之内的空间结构关系。

为了建立密井网条件下的地质模型,研究中选取了胜坨油田胜一区内约 65 口井,井网密度较大,平均最小井距约 200 m 左右,面积约 2.0 km<sup>2</sup> 左右的区域(图 1),作为精细密井网解剖研究区,该区资料齐全,能够代表全区总体的地质规律。

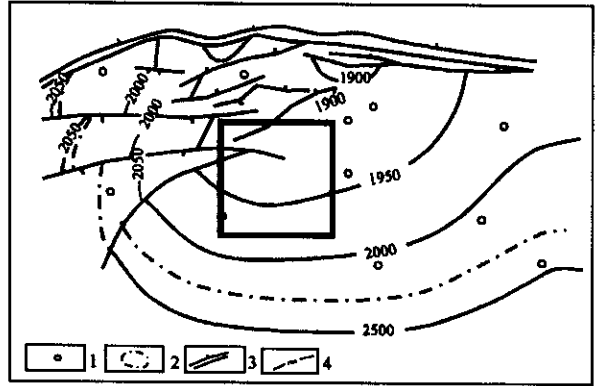


图 1 胜坨油田胜一区密井网区位置平面图

Fig. 1 The location map of the dense drilling zone in Shengyi zone in Shengtuo oilfield

胜坨油田自 1966 年陆续投入注水开发,至今已有 36 a,综合含水大于 90%,油田已进入特高含水期。胜坨油田一区位于胜坨油田的西部高地,油藏地质构造较为复杂,呈次级扇形构造分布形态,具统一的原始油水界面。沙二段的 2 砂组和 3 砂组辫状河流相砂体为本次研究的目的层段。据前人研究成果,认为该砂组主体属于辫状河流相沉积,储集砂体成因类型以分支状或网状辫状河道为主,次为心滩砂体。储层以细粒-中粗粒砂岩为主,次为含砾粗砂岩,局部为砂质细砾岩或粉砂岩。2~3 砂组储层物性较好,属中高孔高渗地层。

## 2 密井网区地质模型的建立

### 2.1 利用密井网资料以及储层地质知识库建立储层骨架地质模型

常规的建立密井网区地质模型的方法是:利用密井网区精细解剖,建立出大量详细的各类储层地质知识库,如岩性、岩相、各类沉积模式库、物性参数库和测井曲线形态库,然后根据这些知识库所得到的研究区内岩相和物性参数分布规律,应用于储层精细建模作为重要的约束条件,最后利用各种密井网资料,即动、静态数据建立储层地质模型。该方法对于每一口井都能很好地符合地下真实情况,但对于井间未知区的储层预测就会存在相当大的不确定性。为了与后面通过多信息集成约束建立的储层地质模型结果进行对比研究,首先用储层地质知识库和密井网资料建立储层地质模型。

根据研究,从目的层中归纳出 5 种不同的岩石微相类型:辫状河道(F1)、心滩(纵向砂坝)(F2)、废弃河道(F3)、漫溢(F4)、泛滥平原泥岩沉积(F5),编

码分别为 1、2、3、4、5。在前人研究辫状河流砂体的岩相建模方法优选研究成果基础上,选用序贯指示模拟方法按照上述 5 种微相类型建立了研究区沙二段 2~3 砂组的高精度储层岩相地质模型——储层骨架模型。为了检验仅用密井网资料和地质知识库建立的储层骨架模型对于横向井间砂体预测的准确度,采用抽稀井手段来验证该方法的横向分辨率大小,选取一个垂直物源方向的砂体岩相模拟剖面(图 2),其中 2-7 井为抽稀井,在 2-64 井与 2-70 井之间,距 2-64 井约 50 m 可以清楚地看出 2-64 井与 2-70

井之间 200 m 范围内所预测的砂体都是连通的,而实际上 2-7 井并未发育砂体,造成这种不正确砂体预测结果的原因在于:在采用变差函数来预测砂体厚度的分布过程中,由于密井网井点数据平均最小井间距也有 200 m,而仅用井数据求得的砂体宽度的变程在 512 m 范围以内,有效变程以内样品点数的缺乏使得所建立的变差函数模型不准确,这种不准确的变差函数模型从根本上制约了砂体分布精度的提高。这样的预测结果将会造成对地下储层分布的错误认识。

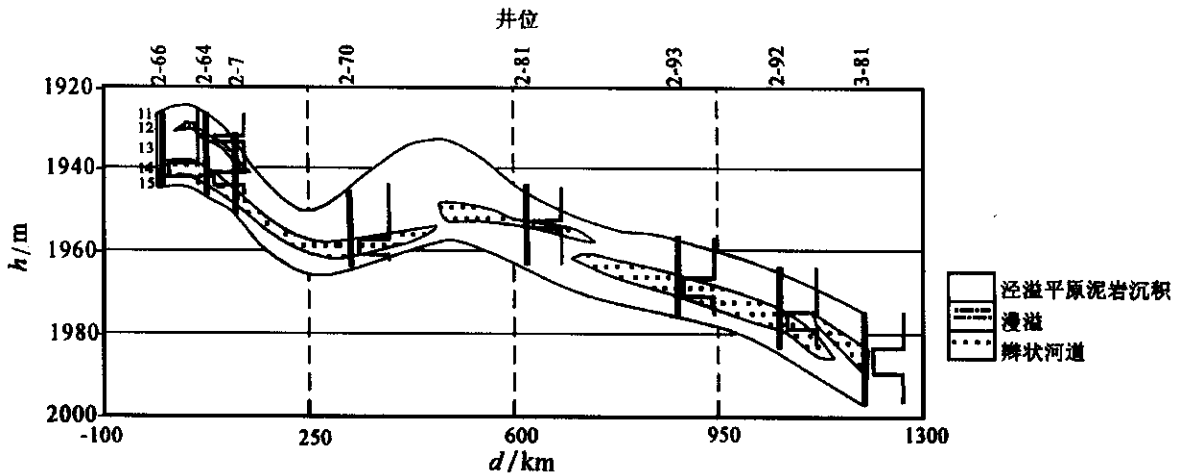


图 2 利用密井网井数据得到的胜一区 2-66 井至 3-81 井砂体岩相模拟剖面图

Fig.2 The lithofacies simulation profile from well 2-66 to well 3-81 by using well data of the dense drilling zone

### 2.2 多信息集成约束建立储层骨架地质模型

由上述可以看出,由于储层研究精度提高的需要,仅利用密井网资料建立的储层地质模型本身的局限性越来越不能满足油田的实际需要,因而人们又开始尝试将露头研究和地震资料研究结合起来。基于上述考虑,研究中,尝试在密井网精细解剖基础上,采用多种信息集成约束方法来建立储层地质模型,多信息包括:地震资料、密井网资料与露头区数据等,利用地质统计学可以提供一个联系的桥梁,因为地质统计学最大的优势就在于它能综合多种多样的数据集,具体到实际应用中就是利用变差函数工具来构筑各种信息在空间上的分布规律。

2.2.1 采用地震资料约束建立储层骨架地质模型的使用条件 可靠的地震解释结果对于建立宏观的储层地质模型意义重大。但是,在利用地震信息进行储层建模时必须具备如下使用条件:

(1)得到的储层属性参数(如砂岩厚度、孔隙度)在横向上数据密集程度必须达到所研究井数据变化范围内,即平面变程之内。这一点一般都能满足,因

为地震测线的道间距为 25 m,样品点间距足够密,且大大超过井点数据。

(2)得到的储层属性参数(如砂岩厚度)在垂向上的分辨率必须达到识别出井的垂向上的主要的单砂体。该点是能否利用该储层属性参数进行约束建模的必要条件。

只有满足上述条件的地震数据才能用于建立储层骨架模型。本文所采用的地震数据是由基于储层相对稳定性原理的定量模拟技术(曹宏,2000)得到的。该方法在胜一区辫状河流相储层进行研究应用过程中,通过使用短期基准面旋回的层位追踪解释,在等时地层格架的精度上有明显的提高。通过抽稀井检验,证明该方法可明显提高储层地质模型的垂向分辨能力及横向表征精度,符合上述使用条件。

2.2.2 采用露头研究成果约束建立储层骨架地质模型的使用条件 若将地表丰富的露头研究成果应用到地下未知区的储层预测之中,就必须选取与所应用地区具备相似的沉积环境和成因条件的露头数据,所描述的不同成因类型砂体的规模、大小、形状

等参数也必须相似。就上述条件而言,特别是由于精细露头研究目前在国内刚起步,针对辫状河流相储层进行变差函数研究的资料还很少,因而该露头区的选取存在很大难度,这里仅选择与储层骨架参数有关的可对比露头成果。通过筛选,引用滦平桑园子露头剖面的扇三角洲平原上发育的辫状河道数据(穆龙新等,2000),该数据(表1)与研究区较接近,胜一区辫状河道厚度平均为3.75 m,平均宽度为280.63 m,宽厚比平均值为74.83,露头河道砂体的宽厚数据与研究区资料亦较接近,因此,可以利用该数据作为合成变差函数的基础数据。

表1 滦平桑园子露头扇三角洲沉积体系中辫状河道砂体的宽厚比数据表

Table 1 The ratio of width and thickness of braided river belonging to fan delta sedimentary system of Sangyuanzi outcrop in Luoping

项	最小值	最大值	平均值
平均厚度/m	1.4	5.2	3.18
最大厚度/m	2.6	14.6	6.38
宽度/m	60.78	651.72	242.13
恢复后宽度/m	81.04	651.72	286.68
宽/厚	40.25	175.65	85.7

2.2.3 综合地震、露头、地质知识库与密井网资料建立储层骨架地质模型 选取了适合的地震信息和露头数据之后,在密井网区精细解剖基础上,通过变

差函数将密集采样的地震、露头、密井网等多信息数据有机地综合在一起,建立出具有综合各种信息的合成变差函数模型,用它约束储层随机建模过程,最终达到建立高精度储层地质模型的目的。

以辫状河道砂体微相为例,介绍高精度储层地质模型的具体应用过程:

(1)对于地震数据得到的砂体属性参数进行变差函数结构分析,与井数据得到的结果比较可知,由于地震资料的横向上采样密度大(间距25 m),具备足够多的观测值拟合实验变差函数,在小于井距变化范围内变差函数模型拟合方面更准确,因而采用该变差函数模型参数。

(2)拟合所选取的露头辫状河道砂体数据的变差函数(数据点间距为12 m),得到露头辫状河道砂体的平面次变程为60 m,变差函数模型为球型模型。由图3看出,露头数据由于数据点足够密集,在几十米范围内变差函数都拟合得相当准确。

在上述分析基础上,综合了露头上平面次变程60 m、地震数据变程475 m(球型模型)和井数据512 m变程信息后,采用不同类型数据体得到的变差函数基台值,以垂直河流流向的次变程方向为例,构建出了胜一区辫状河道砂体的合成水平变差函数套合结构模型(球型模型,图3)可由下式表示:

$$\chi(h) = \begin{cases} \frac{3}{2} \left( \frac{0.375}{60} + \frac{1.007}{475} + \frac{1.595}{512} \right) h - \frac{1}{2} \left( \frac{0.375}{60^3} + \frac{1.007}{475^3} + \frac{1.55}{512^3} \right) h^3, & h \leq 60 \\ 1.007 + \frac{3}{2} \left( \frac{1.007}{475} + \frac{1.55}{512} \right) h - \frac{1}{2} \left( \frac{1.007}{475^3} + \frac{1.595}{512^3} \right) h^3, & 60 < h \leq 475 \\ 1.595 + 1.55 \left( \frac{3}{2} \cdot \frac{h}{512} - \frac{1}{2} \cdot \frac{h^3}{512^3} \right), & 475 < h \leq 512 \\ 3.19, & h > 512 \end{cases}$$

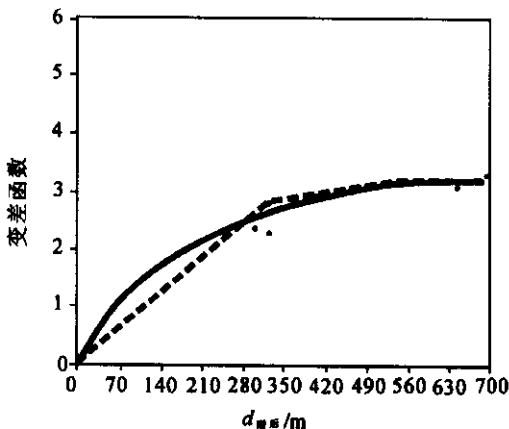


图3 综合地震、露头和井数据得到的辫状河道砂体垂直河道方向合成变差函数图

Fig.3 The synthetic variogram in vertical channel axis direction by using seismic data, outcrop data and well data (实线为合成变差函数曲线)

利用该合成的变差函数模型,按照5种不同的岩石微相类型进行岩相模拟,最终建立综合地震、露头数据以及井数据的密井网条件下储层三维岩相地质模型。

为了检验这种方法的横向预测精度与前面利用地震数据的结果进行比较,选择2-66井至3-81井砂体对比剖面(图4)2-7井为抽稀井,研究发现,由于精细的地震和露头信息的参与,通过合成的变差函数能够比较准确地预测出2-64井与2-7井之间约50 m范围内的砂岩厚度的变化,可得知,合成变差函数方法预测50 m范围内的砂体分布是十分有效的,可将砂体预测的横向分辨率提高到几十米级。

此外,将仅利用抽稀井数据(井距约500m)建

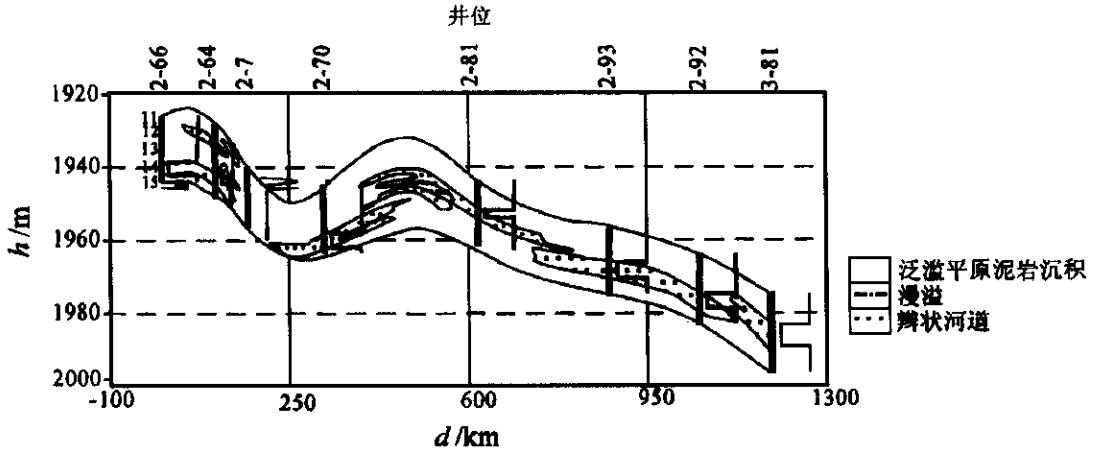


图 4 利用合成变差函数模型得到的胜一区 2-66 井至 3-81 井砂体岩相模拟剖面图  
 Fig.4 The lithofacies simulation profile from well 2-66 to well 3-81 by using synthetic variogram

立的地质模型与抽稀井距 500 m 井数据结合合成的变差函数模型所建立地质模型做对比, 结果发现, 结合多信息的地质模型, 能够比较准确地反映储层的宏观分布规律, 在局部少井地区也能提供比较准确的预测结果, 井的符合率可以提高 10%。说明该方法能够有效地提高稀井网条件下储层预测的精度。

### 2.3 储层物性参数模型的建立

在储层参数建模过程中采用相控建模原则(吴胜和, 1999), 首先建立沉积相、储层结构-储层骨架模型, 然后根据不同沉积相(砂体类型)来研究储层参数定量分布规律, 分相(砂体)进行井间插值或随机模拟, 建立储层参数分布模型。

对于储层参数建模而言, 在严格相控的条件下, 模拟方法的选择已经显得不是很重要了。结合参数建模方法优选结果, 选用算法稳健且常用的序贯高斯模拟方法。利用该算法对密井网区物性参数进行模拟, 可建立储层参数模型(以孔隙度为例, 图 5)。

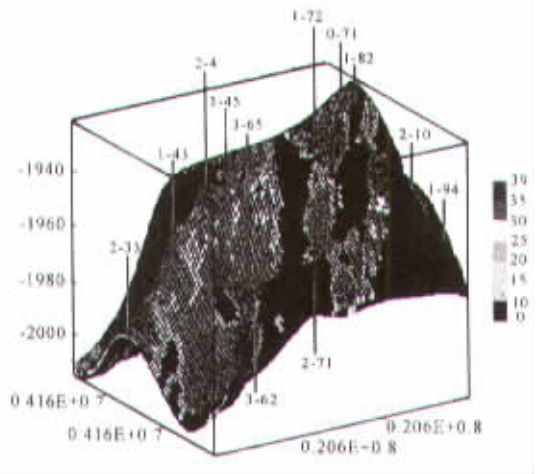


图 5 严格相控条件下建立的储层参数模型(孔隙度模型)  
 Fig.5 The reservoir porosity model severely controlling by the sedimentary facies

## 3 结论

(1) 根据高含水期的地质特征, 发挥油田密井网区的优势, 针对辫状河流相砂体, 提出了一套综合各类信息精细建立储层地质模型的方法和思路, 这种方法可以建立一个高精度的储层地质模型, 该模型对于稀井网区相似沉积背景条件下的储层预测有着相当重要的理论指导意义。

(2) 在建立密井网地质模型过程中, 采用变差函数这一有利工具, 从空间结构性分析的角度, 可以很好地将地震、地质、露头研究以及地质知识库信息的空间分布形态与结构特征结合在一起, 合成一个综万方数据

合各种信息在内的变差函数模型; 利用该模进行储层岩相分布的预测, 取得了相当好的应用效果, 而且使所得到的地质模型在横向上的分辨率由百米级提高到了十米级。

### 参考文献

曹宏等. 2002. 储层相对稳定性及其在储层模拟中的应用. 石油学报, 23(3): 56~59.  
 陈恭洋. 2000. 碎屑岩油气储层随机建模. 北京: 地质出版社.  
 穆龙新, 贾爱林, 陈亮, 黄石岩. 2000. 储层精细研究方法. 北京: 石油工业出版社.  
 吴胜和, 金振奎, 黄沧钿, 陈崇河. 1999. 储层建模. 北京: 石油工业出版社.